

27 | 案例篇：为什么我的磁盘I/O延迟很高？

2019-01-21 倪朋飞



27 | 案例篇：为什么我的磁盘I/O延迟很高？

朗读人：冯永吉 12'42" | 11.64M

你好，我是倪朋飞。

上一节，我们研究了一个狂打日志引发 I/O 性能问题的案例，先来简单回顾一下。

日志，是了解应用程序内部运行情况，最常用也是最有效的工具。日志一般会分为调试、信息、警告、错误等多个不同级别。

通常，生产环境只用开启警告级别的日志，这一般不会导致 I/O 问题。但在偶尔排查问题时，可能需要我们开启调试日志。调试结束后，很可能忘了把日志级别调回去。这时，大量的调试日志就可能会引发 I/O 性能问题。

你可以用 `iostat`，确认是否有 I/O 性能瓶颈。再用 `strace` 和 `lsdf`，来定位应用程序以及它正在写入的日志文件路径。最后通过应用程序的接口调整日志级别，完美解决 I/O 问题。

不过，如果应用程序没有动态调整日志级别的功能，你还需要修改应用配置并重启应用，以便让配置生效。

今天，我们再来看一个新的案例。这次案例是一个基于 Python Flask 框架的 Web 应用，它提供了一个查询单词热度的 API，但是 API 的响应速度并不让人满意。

非常感谢携程系统研发部资深后端工程师董国星，帮助提供了今天的案例。

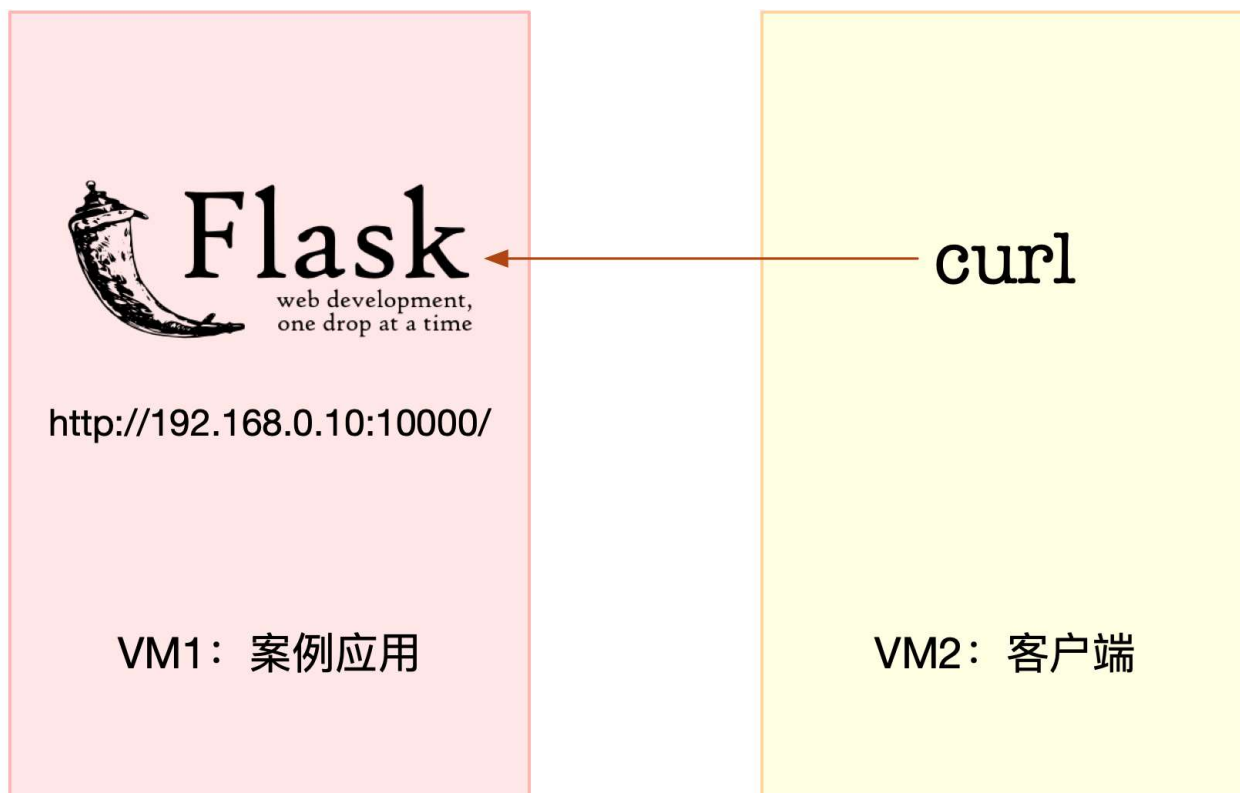
案例准备

本次案例还是基于 Ubuntu 18.04，同样适用于其他的 Linux 系统。我使用的案例环境如下所示：

- 机器配置：2 CPU，8GB 内存
- 预先安装 docker、sysstat 等工具，如 apt install [docker.io](https://docs.docker.com/install/linux/docker-ce/ubuntu/) sysstat

为了方便你运行今天的案例，我把它打包成了一个 Docker 镜像。这样，你就只需要运行 Docker 命令就可以启动它。

今天的案例需要两台虚拟机，其中一台是案例分析的目标机器，运行 Flask 应用，它的 IP 地址是 192.168.0.10；而另一台作为客户端，请求单词的热度。我画了一张图表示它们的关系，如下所示：



接下来，打开两个终端，分别 SSH 登录到这两台虚拟机中，并在第一台虚拟机中，安装上述工具。

跟以前一样，案例中所有命令都默认以 root 用户运行，如果你是用普通用户身份登陆系统，请运行 `sudo su root` 命令切换到 root 用户。

到这里，准备工作就完成了。接下来，我们正式进入操作环节。

温馨提示：案例中 Python 应用的核心逻辑比较简单，你可能一眼就能看出问题，但实际生产环境中的源码就复杂多了。所以，我依旧建议，操作之前别看源码，避免先入为主，而要把它当成一个黑盒来分析。这样，你可以更好把握，怎么从系统的资源使用问题出发，分析出瓶颈所在的应用，以及瓶颈在应用中大概的位置。

案例分析

首先，我们在第一个终端中执行下面的命令，运行本次案例要分析的目标应用：

```
1 $ docker run --name=app -p 10000:80 -itd feisky/word-pop
```

 复制代码

然后，在第二个终端中运行 curl 命令，访问 <http://192.168.0.10:1000/>，确认案例正常启动。你应该可以在 curl 的输出界面里，看到一个 hello world 的输出：

```
1 $ curl http://192.168.0.10:10000/  
2 hello world
```

 复制代码

接下来，在第二个终端中，访问案例应用的单词热度接口，也就是 <http://192.168.0.10:1000/popularity/word>。

```
1 $ curl http://192.168.0.10:1000/popularity/word
```

 复制代码

稍等一会儿，你会发现，这个接口居然这么长时间都没响应，究竟是怎么回事呢？我们先回到终端一来分析一下。

我们试试在第一个终端里，随便执行一个命令，比如执行 df 命令，查看一下文件系统的使用情况。奇怪的是，这么简单的命令，居然也要等好久才有输出。

```
1 $ df  
2 Filesystem      1K-blocks    Used Available Use% Mounted on  
3 udev             4073376         0   4073376   0% /dev  
4 tmpfs            816932     1188    815744   1% /run  
5 /dev/sda1       30308240 8713640  21578216 29% /
```

 复制代码

通过 df 我们知道，系统还有足够多的磁盘空间。那为什么响应会变慢呢？看来还是得观察一下，系统的资源使用情况，像是 CPU、内存和磁盘 I/O 等的具体使用情况。

这里的思路其实跟上一个案例比较类似，我们可以先用 `top` 来观察 CPU 和内存的使用情况，然后再用 `iostat` 来观察磁盘的 I/O 情况。

为了避免分析过程中 `curl` 请求突然结束，我们回到终端二，按 `Ctrl+C` 停止刚才的应用程序；然后，把 `curl` 命令放到一个循环里执行；这次我们还要加一个 `time` 命令，观察每次的执行时间：

```
1 $ while true; do time curl http://192.168.0.10:10000/popularity/word; sleep 1; done
```

复制代码

继续回到终端一来分析性能。我们在终端一中运行 `top` 命令，观察 CPU 和内存的使用情况：

```
1 $ top
2 top - 14:27:02 up 10:30, 1 user, load average: 1.82, 1.26, 0.76
3 Tasks: 129 total, 1 running, 74 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
4 %Cpu0 : 3.5 us, 2.1 sy, 0.0 ni, 0.0 id, 94.4 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
5 %Cpu1 : 2.4 us, 0.7 sy, 0.0 ni, 70.4 id, 26.5 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
6 KiB Mem : 8169300 total, 3323248 free, 436748 used, 4409304 buff/cache
7 KiB Swap: 0 total, 0 free, 0 used. 7412556 avail Mem
8
9  PID USER      PR  NI   VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
10 12280 root      20   0 103304  28824  7276 S   14.0   0.4   0:08.77 python
11  16 root      20   0     0     0     0 S    0.3   0.0   0:09.22 ksoftirqd/1
12 1549 root      20   0 236712  24480  9864 S    0.3   0.3   3:31.38 python3
```

复制代码

观察 `top` 的输出可以发现，两个 CPU 的 `iowait` 都非常高。特别是 CPU0，`iowait` 已经高达 94%，而剩余内存还有 3GB，看起来也是充足的。

再往下看，进程部分有一个 `python` 进程的 CPU 使用率稍微有点高，达到了 14%。虽然 14% 并不能成为性能瓶颈，不过有点嫌疑——可能跟 `iowait` 的升高有关。

那这个 PID 号为 12280 的 `python` 进程，到底是不是我们的案例应用呢？

我们在第一个终端中，按下 `Ctrl+C`，停止 `top` 命令；然后执行下面的 `ps` 命令，查找案例应用 `app.py` 的 PID 号：

```
1 $ ps aux | grep app.py
2 root      12222  0.4  0.2 96064 23452 pts/0    Ss+  14:37   0:00 python /app.py
3 root      12280 13.9  0.3 102424 27904 pts/0    Sl+  14:37   0:09 /usr/local/bin/python /app.py
```

复制代码

从 `ps` 的输出，你可以看到，这个 CPU 使用率较高的进程，正是我们的案例应用。不过先别着急分析 CPU 问题，毕竟 `iowait` 已经高达 94%，I/O 问题才是我们首要解决的。

接下来，我们在终端一中，运行下面的 iostat 命令，其中：

- -d 选项是指显示出 I/O 的性能指标；
- -x 选项是指显示出扩展统计信息（即显示所有 I/O 指标）。

复制代码

```
1 $ iostat -d -x 1
2 Device            r/s      w/s      rkB/s      kB/s      rrqm/s      wrqm/s      %rrqm      %wrqm      r_await  w_await
3 loop0             0.00     0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00     0.00
4 sda                0.00    71.00       0.00    32912.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00    18118.0
```

再次看到 iostat 的输出，你还记得这个界面中的性能指标含义吗？先自己回忆一下，如果实在想不起来，一定要先查看上节内容，或者用 man iostat 查明白。

明白了指标含义，再来具体观察 iostat 的输出。你可以发现，磁盘 sda 的 I/O 使用率已经达到 98%，接近饱和了。而且，写请求的响应时间高达 18 秒，每秒的写数据为 32 MB，显然写磁盘碰到了瓶颈。

那要怎么知道，这些 I/O 请求到底是哪些进程导致的呢？我想，你已经还记得上一节我们用到的 pidstat。

在终端一中，运行下面的 pidstat 命令，观察进程的 I/O 情况：

复制代码

```
1 $ pidstat -d 1
2 14:39:14      UID      PID   kB_rd/s   kB_wr/s kB_ccwr/s iodelay  Command
3 14:39:15        0    12280     0.00  335716.00     0.00      0  python
```

从 pidstat 的输出，我们再次看到了 PID 号为 12280 的结果。这说明，正是案例应用引发 I/O 的性能瓶颈。

走到这一步，你估计觉得，接下来就很简单了，上一个案例不刚刚学过吗？无非就是，先用 strace 确认它是不是在写文件，再用 lsof 找出文件描述符对应的文件即可。

到底是不是这样呢？我们不妨来试试。还是在终端一中，执行下面的 strace 命令：

复制代码

```
1 $ strace -p 12280
2 strace: Process 12280 attached
3 select(0, NULL, NULL, NULL, {tv_sec=0, tv_usec=567708}) = 0 (Timeout)
4 stat("/usr/local/lib/python3.7/importlib/_bootstrap.py", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=39278, .
5 stat("/usr/local/lib/python3.7/importlib/_bootstrap.py", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=39278, .
```

从 strace 中，你可以看到大量的 stat 系统调用，并且大都为 python 的文件，但是，请注意，这里并没有任何 write 系统调用。

由于 strace 的输出比较多，我们可以用 grep，来过滤一下 write，比如：

```
1 $ strace -p 12280 2>&1 | grep write
```

 复制代码

遗憾的是，这里仍然没有任何输出。

难道此时已经没有性能问题了吗？重新执行刚才的 top 和 iostat 命令，你会不幸地发现，性能问题仍然存在。

我们只好综合 strace、pidstat 和 iostat 这三个结果来分析了。很明显，你应该发现了这里的矛盾：iostat 已经证明磁盘 I/O 有性能瓶颈，而 pidstat 也证明了，这个瓶颈是由 12280 号进程导致的，但 strace 跟踪这个进程，却没有找到任何 write 系统调用。

这就奇怪了。难道因为案例使用的编程语言是 Python，而 Python 是解释型的，所以找不到？还是说，因为案例运行在 Docker 中呢？这里留个悬念，你自己想想。

文件写，明明应该有相应的 write 系统调用，但用现有工具却找不到痕迹，这时就该想想换工具的问题了。怎样才能知道哪里在写文件呢？

这里我给你介绍一个新工具，[filetop](#)。它是 [bcc](#) 软件包的一部分，基于 Linux 内核的 eBPF (extended Berkeley Packet Filters) 机制，主要跟踪内核中文件的读写情况，并输出线程 ID (TID)、读写大小、读写类型以及文件名称。

eBPF 的工作原理，你暂时不用深究，后面内容我们会逐渐接触到，先会使用就可以了。

至于老朋友 bcc 的安装方法，可以参考它的 Github 网站 <https://github.com/iovisor/bcc>。比如在 Ubuntu 16 以上的版本中，你可以运行下面的命令来安装它：

```
1 sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys 4052245BD4284CDD
2 echo "deb https://repo.iovisor.org/apt/$(lsb_release -cs) $(lsb_release -cs) main" | sudo tee /e
3 sudo apt-get update
4 sudo apt-get install bcc-tools libbcc-examples linux-headers-$(uname -r)
```

 复制代码

安装后，bcc 提供的所有工具，就全部安装到了 /usr/share/bcc/tools 这个目录中。接下来我们就用这个工具，观察一下文件的读写情况。

首先，在终端一中运行下面的命令：

```

1 # 切换到工具目录
2 $ cd /usr/share/bcc/tools
3
4 # -C 选项表示输出新内容时不清空屏幕
5 $ ./filetop -C
6
7 TID      COMM          READS  WRITES  R_Kb    W_Kb    T FILE
8 514      python         0      1       0       2832    R 669.txt
9 514      python         0      1       0       2490    R 667.txt
10 514      python         0      1       0       2685    R 671.txt
11 514      python         0      1       0       2392    R 670.txt
12 514      python         0      1       0       2050    R 672.txt
13
14 ...
15
16 TID      COMM          READS  WRITES  R_Kb    W_Kb    T FILE
17 514      python         2      0      5957     0       R 651.txt
18 514      python         2      0      5371     0       R 112.txt
19 514      python         2      0      4785     0       R 861.txt
20 514      python         2      0      4736     0       R 213.txt
21 514      python         2      0      4443     0       R 45.txt
22

```

你会看到，filetop 输出了 8 列内容，分别是线程 ID、线程命令行、读写次数、读写的大小（单位 KB）、文件类型以及读写的文件名称。

这些内容里，你可能会看到很多动态链接库，不过这不是我们的重点，暂且忽略即可。我们的重点，是一个 python 应用，所以要特别关注 python 相关的内容。

多观察一会儿，你就会发现，每隔一段时间，线程号为 514 的 python 应用就会先写入大量的 txt 文件，再大量地读。

线程号为 514 的线程，属于哪个进程呢？我们可以用 ps 命令查看。先在终端一中，按下 Ctrl+C，停止 filetop；然后，运行下面的 ps 命令。这个输出的第二列内容，就是我们想知道的进程号：

```

1 $ ps -efT | grep 514
2 root      12280  514 14626 33 14:47 pts/0    00:00:05 /usr/local/bin/python /app.py


```

我们看到，这个线程正是案例应用 12280 的线程。终于可以先松一口气，不过还没完，filetop 只给出了文件名称，却没有文件路径，还得继续找啊。

我再介绍一个好用的工具，opensnoop。它同属于 bcc 软件包，可以动态跟踪内核中的 open 系统调用。这样，我们就可以找出这些 txt 文件的路径。

接下来，在终端一中，运行下面的 opensnoop 命令：

```
1 $ opensnoop
2 12280 python          6  0 /tmp/9046db9e-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/650.txt
3 12280 python          6  0 /tmp/9046db9e-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/651.txt
4 12280 python          6  0 /tmp/9046db9e-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/652.txt
```

 复制代码

这次，通过 opensnoop 的输出，你可以看到，这些 txt 路径位于 /tmp 目录下。你还能看到，它打开的文件数量，按照数字编号，从 0.txt 依次增大到 999.txt，这可远多于前面用 filetop 看到的数量。

综合 filetop 和 opensnoop，我们就可以进一步分析了。我们可以大胆猜测，案例应用在写入 1000 个 txt 文件后，又把这些内容读到内存中进行处理。我们来检查一下，这个目录中是不是真的有 1000 个文件：

```
1 $ ls /tmp/9046db9e-fe25-11e8-b13f-0242ac110002 | wc -l
2 ls: cannot access '/tmp/9046db9e-fe25-11e8-b13f-0242ac110002': No such file or directory
3 0
```

 复制代码

操作后却发现，目录居然不存在了。怎么回事呢？我们回到 opensnoop 再观察一会儿：

```
1 $ opensnoop
2 12280 python          6  0 /tmp/defee970-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/261.txt
3 12280 python          6  0 /tmp/defee970-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/840.txt
4 12280 python          6  0 /tmp/defee970-fe25-11e8-b13f-0242ac110002/136.txt
```

 复制代码

原来，这时的路径已经变成了另一个目录。这说明，这些目录都是应用程序动态生成的，用完就删了。

结合前面的所有分析，我们基本可以判断，案例应用会动态生成一批文件，用来临时存储数据，用完就会删除它们。但不幸的是，正是这些文件读写，引发了 I/O 的性能瓶颈，导致整个处理过程非常慢。

当然，我们还需要验证这个猜想。老办法，还是查看应用程序的源码 [app.py](#)，

```
1 @app.route("/popularity/<word>")
2 def word_popularity(word):
3     dir_path = '/tmp/{}'.format(uuid.uuid1())
4     count = 0
5     sample_size = 1000
6
7     def save_to_file(file_name, content):
```

 复制代码


```

8     with open(file_name, 'w') as f:
9         f.write(content)
10
11     try:
12         # initial directory firstly
13         os.mkdir(dir_path)
14
15         # save article to files
16         for i in range(sample_size):
17             file_name = '{}/{}.txt'.format(dir_path, i)
18             article = generate_article()
19             save_to_file(file_name, article)
20
21         # count word popularity
22         for root, dirs, files in os.walk(dir_path):
23             for file_name in files:
24                 with open('{}{}'.format(dir_path, file_name)) as f:
25                     if validate(word, f.read()):
26                         count += 1
27         finally:
28             # clean files
29             shutil.rmtree(dir_path, ignore_errors=True)
30
31     return jsonify({'popularity': count / sample_size * 100, 'word': word})

```

源码中可以看到，这个案例应用，在每个请求的处理过程中，都会生成一批临时文件，然后读入内存处理，最后再把整个目录删除掉。

这是一种常见的利用磁盘空间处理大量数据的技巧，不过，本次案例中的 I/O 请求太重，导致磁盘 I/O 利用率过高。

要解决这一点，其实就是算法优化问题了。比如在内存充足时，就可以把所有数据都放到内存中处理，这样就能避免 I/O 的性能问题。

你可以检验一下，在终端二中分别访问 <http://192.168.0.10:10000/popularity/word> 和 <http://192.168.0.10:10000/popular/word>，对比前后的效果：

```

1 $ time curl http://192.168.0.10:10000/popularity/word
2 {
3     "popularity": 0.0,
4     "word": "word"
5 }
6 real    2m43.172s
7 user    0m0.004s
8 sys     0m0.007s

```

 复制代码

```
1 $ time curl http://192.168.0.10:10000/popular/word
2 {
3   "popularity": 0.0,
4   "word": "word"
5 }
6
7 real    0m8.810s
8 user    0m0.010s
9 sys     0m0.000s
```

[复制代码](#)

新的接口只要 8 秒就可以返回，明显比一开始的 3 分钟好很多。

当然，这只是优化的第一步，并且方法也不算完善，还可以做进一步的优化。不过，在实际系统中，我们大都是类似的做法，用最简单的方法，尽早解决线上问题，然后再继续思考更好的优化方法。

小结

今天，我们分析了一个响应过慢的单词热度案例。

首先，我们用 top、iostat，分析了系统的 CPU 和磁盘使用情况。我们发现了磁盘 I/O 瓶颈，也知道了这个瓶颈是案例应用导致的。

接着，我们试着照搬上一节案例的方法，用 strace 来观察进程的系统调用，不过这次很不走运，没找到任何 write 系统调用。

于是，我们又用了新的工具，借助动态追踪工具包 bcc 中的 filetop 和 opensnoop，找出了案例应用的问题，发现这个根源是大量读写临时文件。

找出问题后，优化方法就相对比较简单了。如果内存充足时，最简单的方法，就是把数据都放在速度更快的内存中，这样就没有磁盘 I/O 的瓶颈了。当然，再进一步，你还可以利用 Trie 树等各种算法，进一步优化单词处理的效率。

思考

最后，给你留一个思考题，也是我在文章中提到过的，让你思考的问题。

今天的案例中，iostat 已经证明，磁盘 I/O 出现了性能瓶颈，pidstat 也证明了这个瓶颈是由 12280 号进程导致的。但是，strace 跟踪这个进程，却没有发现任何 write 系统调用。

这究竟是怎么回事？难道是因为案例使用的编程语言 Python 本身是解释型？还是说，因为案例运行在 Docker 中呢？

这里我小小提示一下。当你发现性能工具的输出无法解释时，最好返回去想，是不是分析中漏掉了什么线索，或者去翻翻工具手册，看看是不是某些默认选项导致的。

欢迎在留言区和我讨论，也欢迎把这篇文章分享给你的同事、朋友。我们一起在实战中演练，在交流中进步。



Linux 性能优化实战

10 分钟帮你找到系统瓶颈

倪朋飞

微软资深工程师
Kubernetes 项目维护者



新版升级：点击「👤 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

©版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

上一篇 26 | 案例篇：如何找出狂打日志的“内鬼”？

写留言

精选留言



划时代

👍 0

赞同在strace -p PID后加上-f，多进程和多线程都可以跟踪。

2019-01-21



jeff

👍 0

写文件是由子线程执行的，所以直接strace跟踪进程没有看到write系统调用，可以通过pstree查看进程的线程信息，再用strace跟踪。或者，通过strace -fp pid 跟踪所有线程。

2019-01-21



Linuxer

👍 0

是不是strace要增加-f

2019-01-21



ninuxer

👍 0

打卡day28

我一般用strace -cp 来看系统调用的统计信息，然后用-e 查看对应调用的详情

2019-01-21



远方

👍 0

使用strace时，没有加-f选项查看线程

2019-01-21